

## MAPEAMENTO E CÁLCULO DE ÁREAS ARDIDAS E NÍVEIS DE SEVERIDADE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS COM BASE NA ANÁLISE DE IMAGENS DE SATÉLITE

### MAPPING AND CALCULATION OF BURNED AREAS AND FOREST FIRE SEVERITY LEVELS BASED ON SATELLITE IMAGE ANALYSIS

Luís BRANCO

Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico da Guarda  
[brancoexe@gmail.com](mailto:brancoexe@gmail.com)

Elisabete SOARES

UDI-IPG, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico da Guarda  
[esoares@ipg.pt](mailto:esoares@ipg.pt)

#### Resumo

O estudo das áreas afetadas por incêndios florestais não planeados é crucial para a identificação e o desenvolvimento de procedimentos de prevenção, bem como para mitigar os respetivos efeitos. Os incêndios florestais ocorridos em Portugal nos últimos anos devastaram vários hectares do território, com consequências graves para o ambiente, provocando alterações na ocupação do solo e fragilizando os solos. O distrito da Guarda foi uma das regiões afetadas. Assim, tendo por objetivo analisar as áreas ardidas, apresenta-se a metodologia usada para estimar a dimensão das zonas afetadas pelos incêndios de agosto de 2022, no distrito da Guarda. É propósito deste estudo obter informação geoespacial, qualitativa e quantitativa, das áreas ardidas e relacioná-la com a ocupação do solo e a severidade com que o evento marcou o território. Para tal, foram aplicadas técnicas de Detecção Remota aliadas aos Sistemas de Informação Geográfica, concretamente, classificação supervisionada através do algoritmo *Support Vector Machine* (SVM). Como principais *inputs* usaram-se índices espectrais por diferença normalizada calculados a partir de imagens multiespectrais do satélite Sentinel-2. O cálculo da diferença entre índices espectrais de diferentes épocas (*pre-fire* e *post-fire*) permitiu isolar o acontecimento dentro de um período. Assim, foi possível obter o registo e analisar as áreas afetadas pelos incêndios no período compreendido entre 02 de agosto (*pre-fire*) e 22 de agosto (*post-fire*) de 2022. Os resultados foram posteriormente intercetados com a Carta de Ocupação de Solos Conjetural de 2021 (COSc), da Direção-Geral do Território (DGT), o que permitiu relacionar os três níveis de severidade (Baixa, Média e Alta) das áreas ardidas com as diferentes ocupações de solo, obtendo-se como resultados a análise estatística das zonas afetadas e o respetivo mapa temático.

**Palavras-chave:** Mapeamento de áreas ardidas; níveis de severidade de incêndios florestais; índices espectrais; ocupação do solo.

#### Abstract

The study of areas affected by unplanned forest fires is crucial for identifying and developing prevention procedures, as well as for mitigating their effects. Forest fires that have occurred in Portugal in recent years have devastated numerous hectares of the territory, with serious consequences for the environment, resulting in changes in land cover and soil degradation. The Guarda district was one of the affected regions. Therefore, with the aim of analysing the burned areas, the methodology used to estimate the areas affected by the wildfires in August 2022, in the Guarda district, is presented. The purpose of this study is to obtain geospatial, qualitative and quantitative information about the burned areas and relate it to land cover and the severity with which the event marked the territory. To achieve this, Remote Sensing techniques were applied in conjunction with Geographic Information Systems, specifically supervised classification using the Support Vector Machine (SVM) algorithm. The main inputs consisted of spectral indices by normalized difference calculated from multispectral images from the Sentinel-2 satellite. Calculating the difference between spectral indices from different periods (*pre-fire* and *post-fire*) allowed for isolating the event within a specific timeframe. Thus, it was possible to record and analyse the areas affected by the fires during the period between August 2nd (*pre-fire*) and August 22nd (*post-fire*) of 2022. The results were subsequently intersected with the Conjectural Land Cover Map of 2021 (COSc) from Direção Geral do Território (DGT), which enabled the association of the three severity levels (Low, Medium, and High) of the burned areas with different land covers, resulting in statistical analysis of the affected areas and the respective thematic map.

**Keywords:** Mapping of burned areas; forest fires severity levels; spectral indices; land cover.

## 1 - Introdução

A perspetiva aérea do planeta trouxe consideráveis benefícios no que diz respeito à monitorização da superfície da Terra e do ambiente próximo da mesma. Concretamente, com o auxílio de diversos tipos de sensores instalados em aeronaves ou satélites, aliados ao avanço de tecnologias de posicionamento e dos sistemas informáticos, tem sido possível obter uma grande quantidade de informação, rica e variada, sobre diversos domínios que visem, de uma forma geral, a segurança e o bem-estar das gerações atuais e futuras. Neste contexto, a Deteção Remota (DR) por satélite e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) desempenham um papel determinante na aquisição e transformação de dados, sendo cruciais para fornecer informação relacionada com a monitorização e a gestão do uso e ocupação dos solos, bem como para avaliar catástrofes “naturais” que os possam afetar. Entre estas catástrofes, destaca-se um fenómeno que tem necessariamente de ser estudado com vista à sua prevenção e controlo: os incêndios.

Sobre os incêndios, principalmente os florestais, não obstante todo o mal que trazem ao mundo, são fenómenos naturais em muitos ecossistemas e até podem ter efeitos positivos relacionados com a biodiversidade e com a regeneração (Knopp *et al.*, 2020). No entanto, têm sido usados de forma danosa pela humanidade como meio para alcançar certos fins. Por isso, é facto que a maioria das ignições tem origem humana e isso pode provocar desequilíbrios na biodiversidade, na estrutura dos solos, nos recursos hídricos, na atmosfera, entre muitos outros. Em suma, os incêndios florestais quando não controlados podem provocar danos em toda a Natureza, trazendo impactos negativos para a humanidade (Knopp *et al.*, 2020; Chuvieco *et al.*, 2019).

No ano de 2017, Portugal viveu uma situação difícil causada pelos incêndios florestais, mas, embora tenha sido um ano atípico a esse nível, este é um assunto recorrente todos os anos, o que auxilia nas projeções para os anos seguintes. Infelizmente, a confirmar a tendência, 2022 foi outro ano particularmente marcante devido ao grande incêndio do Parque Natural Serra da Estrela (PNSE), que em agosto desse ano afetou cerca de 28 000ha. De facto, em Portugal, os incêndios florestais são dos fenómenos que mais impactam negativamente na vegetação (Llorens *et al.*, 2021), havendo também efeitos no Orçamento de Carbono disponível para o país (Bastarrika *et al.*, 2011). O incêndio de 2022 afetou fortemente a floresta do PNSE, causando alterações significativas na cobertura e na estrutura do solo, afetando o escoamento superficial e a permeabilidade dos solos, o que impactou diretamente nas populações. Isso ficou comprovado com as primeiras chuvas a seguir ao acontecimento, cujas escorrências provenientes da montanha provocaram deslizamento de terras e arrastamento de escombros, causando graves prejuízos para a população, em particular na localidade de Sameiro, no concelho de Manteigas.

Acontece que a floresta tem um valor ambiental elevado, mas também económico e social, sendo assim, o controlo de incêndios florestais bem-sucedido irá certamente traduzir-se num benefício para todos, cujo valor até pode ser estimado monetariamente. De acordo com Mendes (2021), o valor de dióxido de carbono sequestrado em 2018 pelas florestas portuguesas representou um benefício avaliado em 141,8

milhões de euros, atendendo ao custo de 15,88€ por tonelada de CO<sub>2</sub>. Segundo Mendes (2021) existem outros números interessantes sobre o valor económico da produção florestal, como o facto de o coberto vegetal de Portugal evitar uma perda anual de 116,9 milhões de euros, pelos seus efeitos de combate à erosão, ou a poupança com a proteção dos recursos hídricos, estimada em 128 milhões de euros (considerando valores de 2012). Aproveitando a temática dos *big numbers*, há também a referir o valor do custo com os prejuízos provocados pelos incêndios que afetam diretamente os cidadãos. Segundo o Jornal de Negócios (27 de outubro de 2017), logo nas primeiras estimativas que as seguradoras fizeram relativamente às indemnizações, apurou-se o valor de 200 milhões de euros, e isto apenas para os incêndios de 15 de outubro de 2017. Mas há um número que talvez ninguém consiga converter verdadeiramente em euros: as perdas humanas. Neste incêndio morreram 51 pessoas (Jornal O Público, 28 de fevereiro de 2019). Portanto, facilmente se conclui que a prevenção dos incêndios deve ser uma prioridade para o Estado Português, o que inclui todos os cidadãos, e também definir estratégias para mitigar os efeitos destes fenómenos. Uma das etapas para a avaliação das áreas suscetíveis a incêndios florestais é produzir o inventário dos mesmos, identificar as respetivas áreas ardidas e impactos causados, elementos também necessários para a validação das cartas de suscetibilidade a incêndios (Julião *et al.*, 2009). Acresce que é necessário cartografar as “cicatrices” dos incêndios para se calcularem os prejuízos ecológicos e económicos (Chung *et al.*, 2022). Adicionalmente, esse mapeamento poderá contribuir positivamente para a investigação deste assunto, para a criação de planos de recuperação das áreas afetadas ou para a definição de apoios às populações afetadas, a nível global, regional ou local (Filipponi, 2018). Também o grau de severidade dos incêndios se revela como um fator diferenciador do impacto no ambiente, o qual será tanto maior quanto maior o nível de severidade. Outro fator a ter em conta é a alteração do coberto vegetal provocado pelos incêndios e consequentes efeitos na ocupação do solo, os quais serão tanto maiores quanto maior o nível de severidade, seja pela alteração dos seus constituintes, seja pela sua alteração física (Soares & Maillard, 2014; Jhariya & Singh, 2021).

A extração ou delimitação das áreas ardidas é um assunto algo debatido na literatura. Um dos métodos é a simples digitalização do polígono desta área, minimizando a abrangência de zonas não ardidas, o que é suficiente para escalas de 1/24 000 ou menores (Key & Benson, 2005). Contudo, este método é certamente demasiado moroso quando o fenómeno afeta grandes áreas, como foi o caso dos incêndios de 2017 e de 2022, principalmente porque provocaram danos de diversas naturezas. Nestas situações, pode ser usada uma abordagem baseada em métodos automáticos ou semiautomáticos, através de algoritmos que identificam as zonas ardidas pelas suas características espectrais. Várias técnicas têm sido apresentadas (Martinis *et al.*, 2017), que passam pela classificação supervisionada ou não-supervisionada, análise de regressão logística, análise multicritério e estabelecimento de intervalos baseados em índices espectrais. Este último tem sido pouco discutido na literatura, principalmente por haver algumas dificuldades em se estabelecerem limites globais adequados que possam ser usados para diferentes dados e diferentes épocas. Assim, dependendo dos dados, o uso deste método poderá requerer

alguns ajustes (Key & Benson, 2005; Martinis *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 1997). Um dos métodos tidos como referência para estimar a severidade e a delimitação de áreas ardidas é a classificação do índice *Normalized Burn Ratio* (NBR), com melhores resultados quando se calcula a sua diferença (dNBR) entre duas épocas (antes do incêndio e após o incêndio).

Assim, a metodologia estabelecida, quantitativa e qualitativa, inclui a estimativa das áreas ardidas, a classificação do nível de severidade dos incêndios ocorridos em agosto de 2022 no distrito da Guarda e respetivas consequências na ocupação do solo. A análise suportou-se em técnicas de Detecção Remota, nomeadamente classificação supervisionada e cálculo de índices espectrais, bem como de Sistemas de Informação Geográfica. Neste contexto, este capítulo divide-se em cinco secções. A primeira secção corresponde à presente introdução; na segunda secção faz-se uma breve apresentação da área de estudo e dos dados usados; na terceira secção apresenta-se a metodologia e a análise desenvolvida; os resultados obtidos e a discussão dos mesmos é feita na quarta secção; e, por último, apresentam-se as conclusões na secção cinco.

## **2 – Área de Estudo e Dados Usados**

### **2.1- Área de Estudo**

A análise apresentada neste capítulo incidiu sobre o distrito da Guarda (Figura 1), cujo território sofreu graves danos causados pelos incêndios ocorridos em agosto de 2022. O distrito da Guarda tem uma área de 5 535 km<sup>2</sup> dividida em 14 concelhos, no qual se integra parte do PNSE. De acordo com a classificação da NUTS II encontra-se na Região Centro de Portugal, com exceção do concelho de Vila Nova de Foz Côa que se encontra na região Norte. É caracterizado por um território montanhoso, com uma variação altimétrica de 1 909 m, no qual se situa o ponto mais alto de Portugal Continental, no concelho de Seia, concretamente no planalto da Torre da Serra da Estrela (1 993 m de altitude) e o ponto mais baixo do distrito, localizado no concelho de Vila Nova de Foz Côa a 84 m de altitude.

Não obstante terem sido recolhidos dados de todo o distrito, atendendo a que os incêndios de agosto de 2022 incidiram principalmente nos concelhos de Gouveia, Manteigas e Guarda, estes mereceram especial atenção, direcionando-se a discussão dos resultados para estas localizações. Deste modo, o foco da análise concentrou-se mais a Sul do distrito, concretamente numa zona integrada no PNSE.

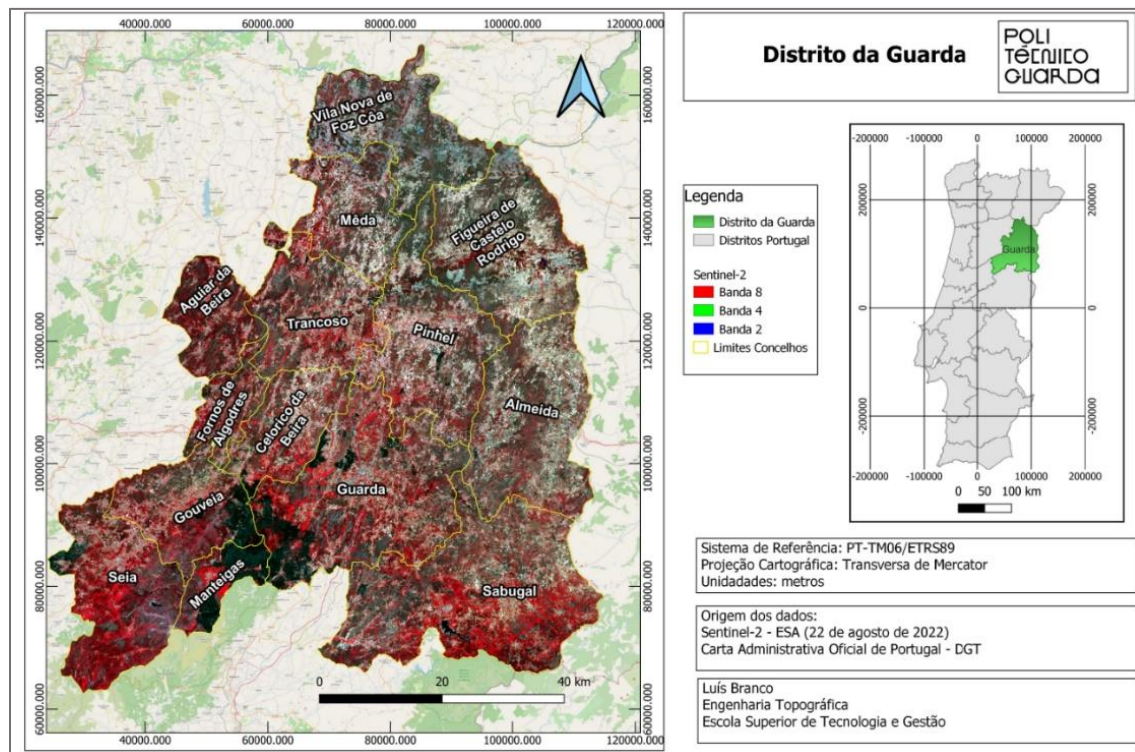


Figura 4 - Distrito da Guarda

## 2.2- Dados usados

A principal fonte de dados foram imagens multiespectrais adquiridas pelos satélites “gêmeos” Sentinel-2, Sentinel-2A e Sentinel-2B, da responsabilidade da Agência Espacial Europeia, tendo sido obtidas duas imagens multiespectrais dos dias 02 e 22 de agosto de 2022 com o nível de processamento L2A. A escolha recaiu nesta constelação devido à boa resolução temporal (5 dias no equador), resolução espacial (10 a 20 m) e resolução espectral (foram usadas 9 bandas espectrais, cf. Tabela I. Além disso, a coleção de bandas espectrais contém informação espectral do Infravermelho Próximo (NIR) e do Infravermelho de ondas curtas (SWIR), que são regiões do Espectro Eletromagnético que permitem diferenciar bem as áreas ardidas de outras ocupações, bem como classificar a severidade dos incêndios florestais (Fernández-Manso *et al.*, 2016 in Llorens *et al.*, 2021).

Foi também foi usada a Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) para obter os limites administrativos e a Carta de Ocupação do Solo (COSc) de 2021. Para o levantamento dos dados em campo foi usado um Recetor Global Navigation Satellite Systems (GNSS), em modo RTK (Real Time Kinematic).

Tabela I - Bandas espectrais usadas

Resolução Espacial (m)	Número da banda	Designação da zona do EEM	S2A		S2B	
			Comprimento de onda central (nm)	Largura da Banda (nm)	Comprimento de onda central (nm)	Largura da Banda (nm)
10	2	Azul	492,4	66	492,1	66
	3	Verde	559,8	36	559	36
	4	Vermelho	664,6	31	664,9	31
	8	Near Infra-Red (NIR)	832,8	106	832,9	106
20	5	Red_Edge	704,1	15	703,8	16
	6	Red_Edge	740,5	15	739,1	15
	7	Red_Edge	782,8	20	779,7	20
	11	SWIR1	1613,7	91	1610,4	94
	12	SWIR2	2202,4	175	2185,7	185

Fonte: ESA, 2022

### 3 - Metodologia e análise desenvolvida

#### 3.1- Metodologia

O cálculo das áreas ardidas e dos níveis de severidade dos incêndios florestais baseou-se em técnicas de Detecção Remota (DR) e de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tendo sido desenvolvida a seguinte metodologia de análise: i) mapear e quantificar as áreas ardidas; ii) classificar o nível de severidade dos incêndios; iii) relacionar as zonas atingidas pelos incêndios e respetiva severidade com as classes de ocupação do solo existentes antes do evento.

O cálculo dos índices espectrais e das diferenças entre índices permitiu estimar as áreas ardidas e classificar os níveis de severidade correspondentes. Os índices espectrais resultam de operações de transformação de imagens, cujo objetivo é a criação de matrizes espectrais que podem ser usadas para uma melhor análise, permitindo obter informações sobre a zona alvo de estudo, ou servindo de *input* para outras operações de análise espacial. Geralmente, o cálculo desses índices envolve a execução de operações matriciais entre duas ou mais bandas espectrais. Os Índices de Vegetação são usados frequentemente no mapeamento de áreas ardidas por serem técnicas robustas, mas de relativa simplicidade (Chuvieco, 2016), que permitem obter uma maximização dos pixels com maior ou menor densidade de vegetação ou, no caso concreto, de áreas afetadas por incêndios. Um dos índices mais usados para medir a densidade de vegetação é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse *et al.* (1974), o qual foi selecionado para este estudo por permitir realizar comparações temporais e diferenciar o tipo de ocupação de solo. O cálculo do NDVI (equação 1) é baseado no princípio de grande absorção, por parte da vegetação, das radiações da região espectral do vermelho (RED) e forte refletância das radiações do Infravermelho próximo (NIR) (Rouse *et al.*, 1974; Cherlinka, 2019).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

O índice *Normalized Burn Ratio* (NBR) (equação 2) foi usado inicialmente para discriminar áreas ardidadas e posteriormente para estimar a severidade dos incêndios, cuja diferença é obtida entre as bandas espectrais NIR e Infravermelho de ondas curtas (SWIR) (Chuvieco *et al.*, 2019; Martinis *et al.*, 2017)

$$NBR = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2} \quad (2)$$

O índice *Normalized Difference Vegetation Index red-edge* (NDVI<sub>re</sub>) (equação 3) é calculado considerando a região espectral designada por *red-edge*. Navarro *et al.* (2017) usou este índice, tendo obtido bons resultados na determinação de áreas ardidadas, especialmente com a banda 5 (Tabela I) do satélite Sentinel-2. (Navarro *et al.*, 2017)

$$NDVI_{re} = \frac{NIR - red\_edge}{NIR + red\_edge} \quad (3)$$

O *Normalized difference tillage index* (NDTI) (equação 4), proposto por Deventer *et al.* (1997), é um índice utilizado para estimar resíduos após colheitas, em zonas agrícolas, e diferenciar solos diversos relativamente a áreas urbanas pelo que também foi usado para se obter essa diferenciação (Rouibah & Belabbas, 2020; Sonmez & Slater, 2016).

$$NDTI = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2} \quad (4)$$

Além do cálculo dos índices, uma operação matricial importante para a obtenção dos resultados deste estudo foi a diferença entre o mesmo índice, calculado a partir de dados de épocas diferentes, mas da mesma localização. Estas diferenças permitem isolar com maior detalhe um acontecimento, dentro do espaço temporal das duas épocas, uma vez que se obtém uma nova matriz, na qual cada *pixel* contém o valor da diferença entre os seus homólogos das matrizes usadas para o cálculo. Entidades oficiais como a *United States Geological Survey* (USGS) ou *European Forest Fire Information Service* (EFIS) utilizam a diferença do índice espectral NBR (dNBR) (equação 5) para estimar as áreas ardidadas e a severidade dos incêndios florestais (Key & Benson, 2005; Chung *et al.*, 2019; United Nations, 2022). Todavia, o cálculo das diferenças pode ser aplicado a outros índices espectrais.

$$dNBR = NBR_{pre-fire} - NBR_{post-fire} \quad (5)$$

### 3.2- Análise desenvolvida

As áreas ardidadas e os respetivos níveis de severidade foram obtidos pelo método de classificação supervisionada de imagens multiespectrais, a partir das matrizes resultantes do cálculo dos índices espectrais e suas diferenças. Numa primeira fase, foram analisados os resultados dos vários índices espectrais e diferenças de índices, de forma a selecionar os de maior relevância para o estudo, considerando: 1) a interpretação visual e numérica dos valores das células de cada matriz; 2) os resultados das matrizes de correlação; 3) a revisão da literatura existente. Após esta análise metodológica, foram

selecionados os seguintes índices e diferenças (*pre-fire – post-fire*) para o desenvolvimento do estudo: dNBR e NBR (Figura 2), dNDVire, dNDTI e dNDVI (Figura 3), NDVire e NDVI (Figura 4).

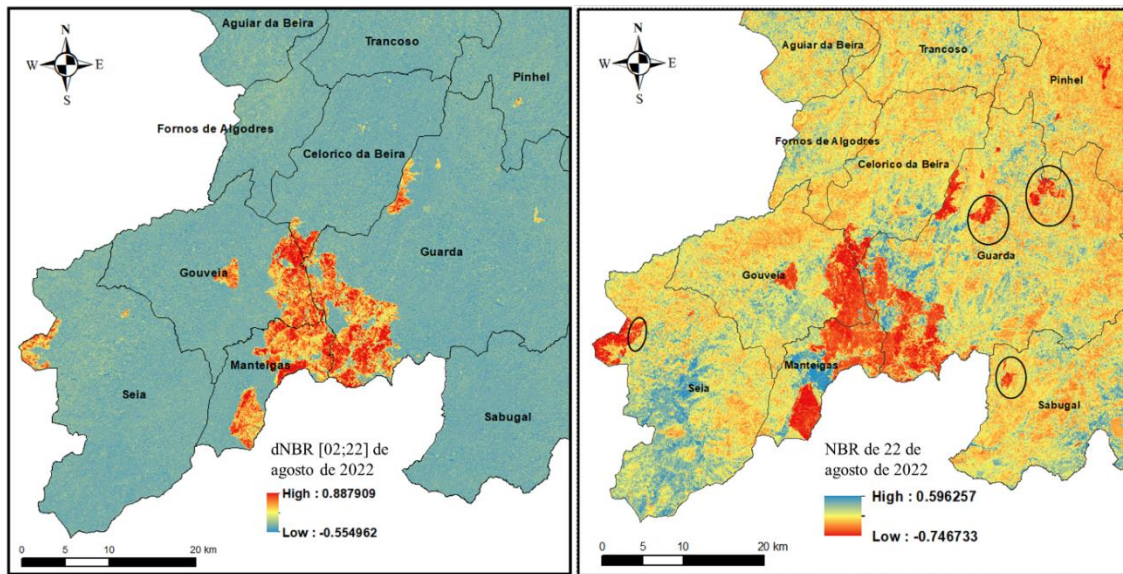


Figura 5 – Índices espectrais dNBR e NBR calculados

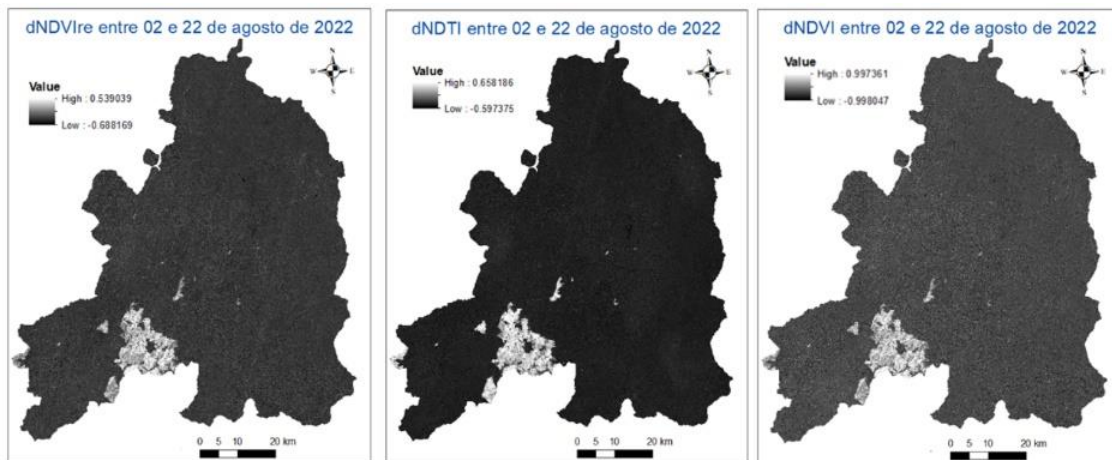


Figura 6 - Índices espectrais dNDVire, dNDTI, dNDVI calculados



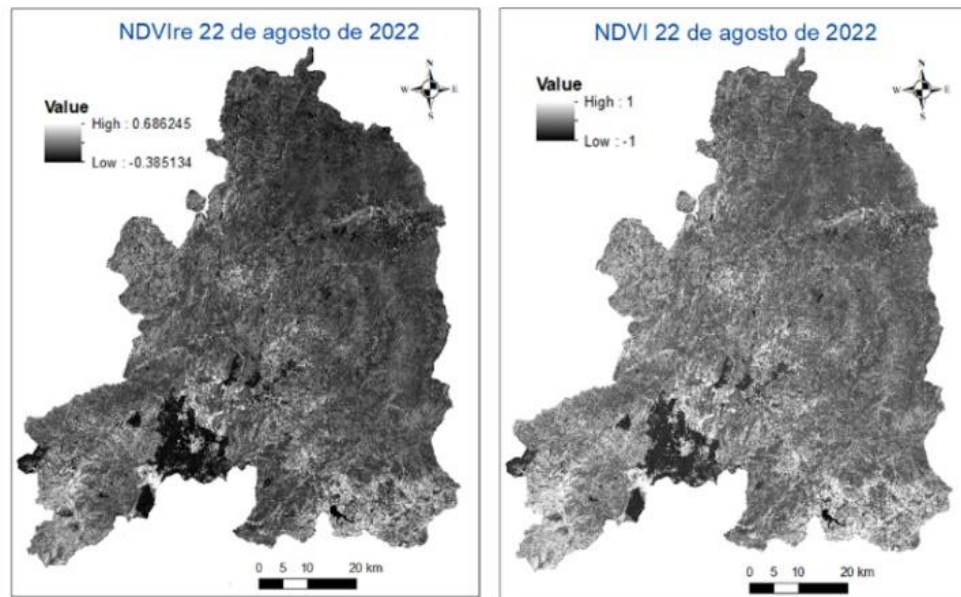


Figura 7 – Índices espectrais NDVIre e NDVI calculados

Para classificar a severidade dos incêndios florestais definiu-se uma escala, considerando o valor do dNBR, adaptada a partir de duas escalas consideradas de referência, nomeadamente da EFIS e da USGS. Tal como refere Key& Benson (2005), o dNBR pode ser usado diretamente, sem intervalos, para mapeamento e análise, interpretando-se os valores mais altos como zonas ardidas com maior severidade. Relativamente aos intervalos das classes para os níveis de severidade, o mesmo autor indica que “*The breadth and number of levels is entirely up to the user, based on requirements of the application.*” Assim, procurou-se uma escala (Tabela II) que permitisse diferenciar três níveis de severidade e que garantisse a distribuição dos mesmos, o melhor possível, pela área em estudo. Desta forma, foi possível estabelecer comparações entre os valores obtidos em toda a área.

Tabela II – Intervalos de Severidade

Nível de Severidade	Intervalos
Não afetado	dNBR <0,1
Baixa severidade	0,100 ≤ dNBR ≤ 0,3
Média severidade	0,300 < dNBR ≤ 0,5
Alta Severidade	dNBR > 0,5

A seleção das áreas de treino, necessárias para a classificação supervisionada, baseou-se em interpretação visual, no conhecimento do território afetado e o recurso a técnicas de processamento de imagens, como: composições coloridas a falsa cor, operações de *Stretch*, interpretação visual das várias bandas espectrais, etc. Cada polígono de treino foi selecionado com rigor, tomando-se como referência o dNBR e de forma que a distância entre eles fosse superior a 20 metros. Os reservatórios de água foram classificados para garantir a inexistência de confusões entre esta ocupação e as zonas ardidas, e também para assegurar a sua identificação, para potencial utilização em estudos futuros. O algoritmo classificador

usado foi o *Support Vector Machine* (SVM), do *software* ArcGis Pro, devido à sua capacidade em tratar dados de dimensões elevadas. Weng (2011) explica que o SVM é apropriado para aplicações com *set* de imagens hiperespetrais e aponta, como vantagem, o facto de ser eficaz a eliminar ruídos. Também há a referir que é menos suscetível ao efeito de bandas correlacionadas e, em relação às áreas de treino, não são necessárias muitas, não têm de seguir uma distribuição normal e podem ter quantidades desequilibradas relativamente a cada classe (Mountrakis *et al.*, 2011; Cortes & Vapnik, 1995; Gidudu *et al.*, 2007. De forma a ser possível correlacionar o resultado com a ocupação dos solos, a matriz obtida e a COSc 2021 foram convertidas para formato vetorial, com preservação da geometria do pixel, agrupando os contíguos com valor comum em polígonos únicos. Dado que o produto obtido pelas imagens de satélite se encontra no sistema de referência UTM-WGS84 e a COSc 2021 no sistema PT-TM06-ETRS89, foi necessário realizar a transformação das coordenadas para que a camada relativa à área ardida ficasse referenciada no sistema cartográfico PT-TM06-ETRS89.

#### 4- Resultados obtidos

A aplicação da metodologia exposta na secção 3 permitiu classificar as áreas ardidas e os respetivos níveis de severidade, apresentando-se na Tabela III os resultados quantitativos extraídos da análise efetuada. A classe designada por “passado” na Tabela III, refere-se a manchas de incêndios recentes, mas anteriores ao período em análise (02 de agosto a 22 de agosto).

Tabela III - Geometria da Zona Ardida por Severidade

Severidade	Área (ha)	Área ardida (ha)	Total área ardida (ha)	Perímetro (m)
Baixa	6 498	20 618	22 970	2 714
Média	10 406			3 197
Alta	3 714			1 353
Passado	2 352	529 146	1 198	520
Não afetado	529 146			2 305
Água	1 198			318

Pela análise dos valores da Tabela III verifica-se que, entre 02 e 22 de agosto de 2022, arderam no distrito da Guarda mais de 20 000ha, dos quais 18% correspondem ao nível de severidade alto, 50,5% ao nível médio e 31,5% ao nível baixo. De salientar que anteriormente já tinham ardido mais de 2 000ha deste território.

Nos mapas apresentados na Figura 5 é possível visualizar a área ardida e a respetiva classificação da severidade, obtidos pela sequência das operações descritas anteriormente.

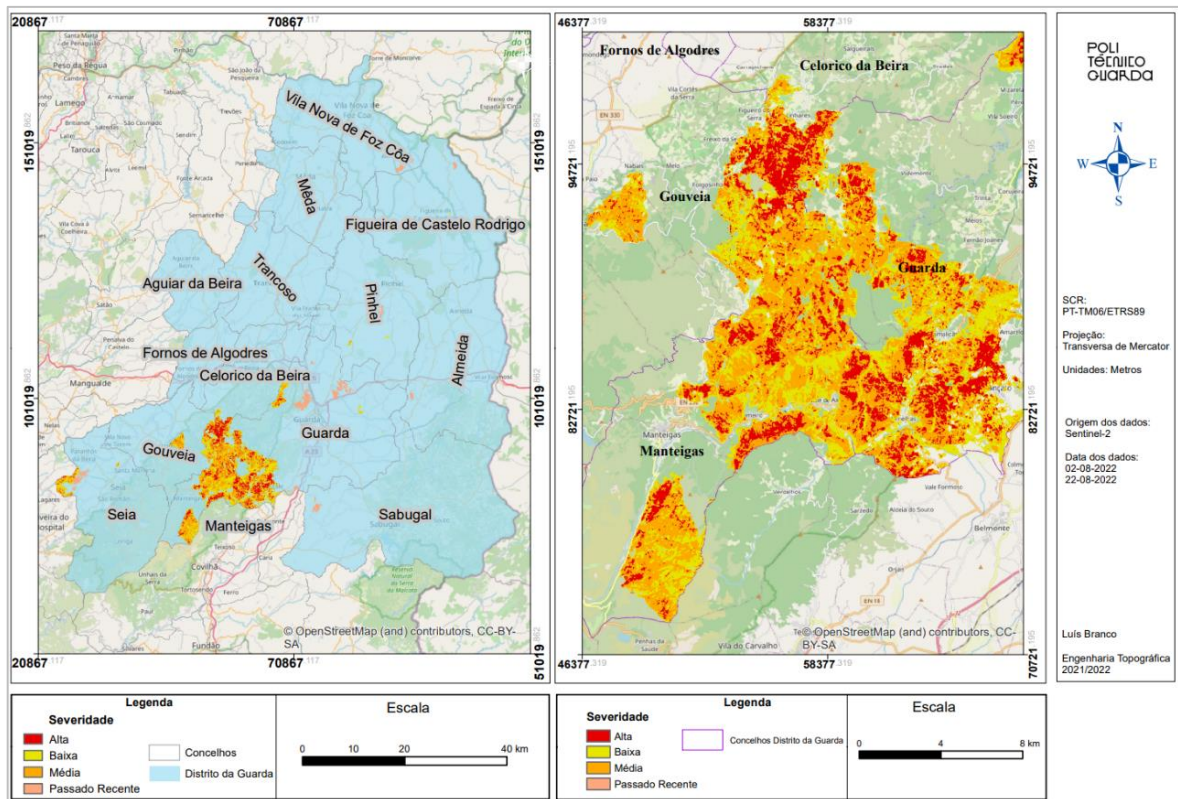


Figura 5 - Mapa temático da área ardida

De forma a perceber quais os tipos de ocupação do solo afetados, analisaram-se conjuntamente os resultados obtidos, apresentados na Tabela III e na Figura 5, com a COSc 2021. Dessa análise resultaram os valores estatísticos que permitiram quantificar a área ardida por classe de ocupação, conforme apresentado no gráfico da Figura 6.

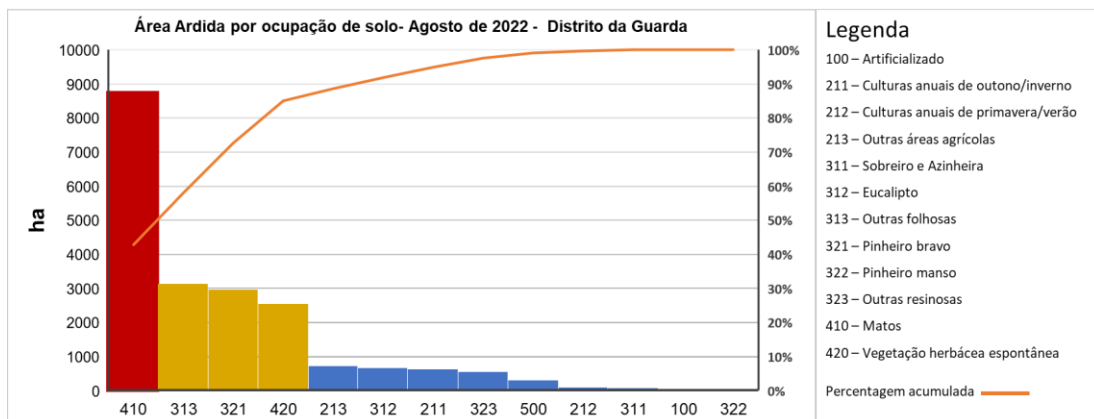


Figura 6 - Gráfico da Área ardida por ocupação de solo

Como se pode observar pelo gráfico (Figura 6), a classe de ocupação com maior área ardida corresponde a matos (cerca de 50% da área ardida), seguida de vegetação herbácea espontânea. De

salientar também a área ardida de pinheiro bravo, com 14% da área total. Estes resultados poderão dever-se à predominância destas coberturas do solo no distrito da Guarda.

Os gráficos das Figuras 7, 8 e 9 quantificam a área ardida de cada classe de ocupação do solo para cada nível de severidade.

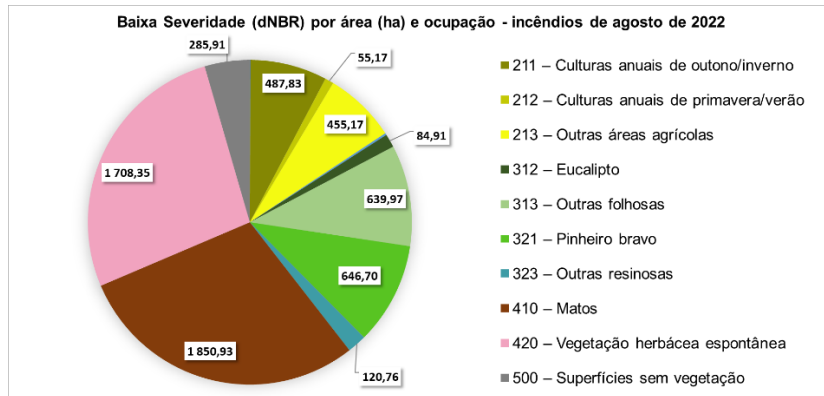


Figura 7 – Ocupações afetadas – severidade baixa

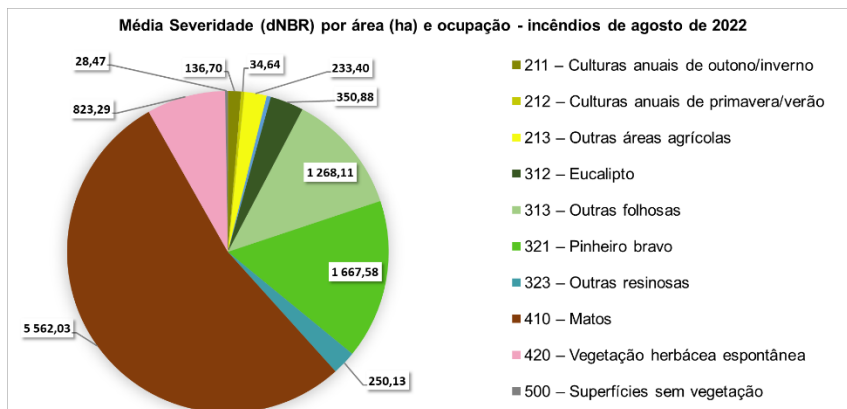


Figura 8 – Ocupações afetadas – severidade média

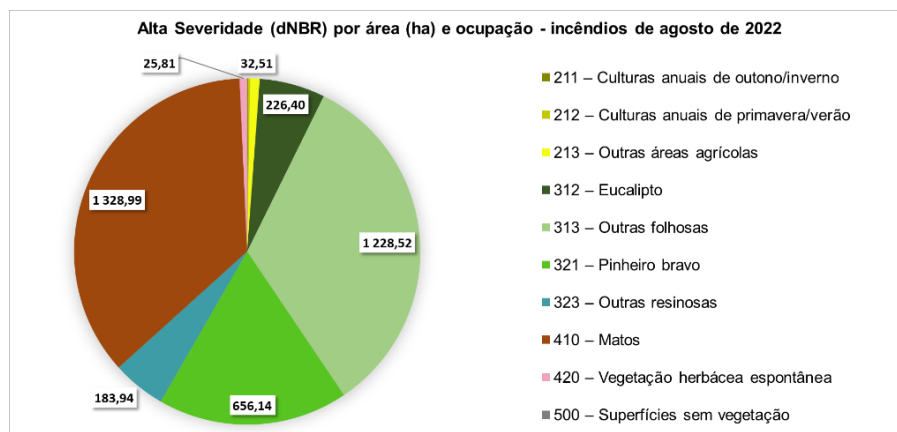


Figura 9 – Ocupações afetadas – severidade alta

Dos resultados apresentados nas Figuras 7, 8 e 9, constata-se que a classe matos corresponde à de maior área ardida para todos os níveis de severidade; a vegetação herbácea espontânea foi principalmente afetada com um nível de severidade baixa; a classe de pinheiro bravo foi atingida por todos os níveis de severidade, com maior predominância para o nível médio de severidade; para o nível de severidade alto, destaca-se, para além dos matos, a grande quantidade de área ardida de outras folhosas (carvalhos e castanheiros); a cobertura relativa a eucalipto apresenta maior área ardida para os níveis de severidade médio e alto. A predominância de área ardida de outras folhosas, principalmente carvalho e castanheiro, para o nível de severidade alta, sugere que estas espécies tinham predominância neste território e que sofreram uma grande perda como consequência do evento.

Um aspeto a destacar, está relacionado com uma ocupação relativamente rara em Portugal: Pinheiro-Silvestre (*Pinus sylvestris*). Trata-se de uma ocupação inserida na classe “outras resinosas” da COSc 2021. Os resultados (Tabela IV) indicam que sofreu uma perda significativa (20,8% da área existente previamente ao incêndio), facto comprovado pelas observações *in situs*, em particular em Penhas-Douradas.

Tabela IV - Área afetada por severidade da ocupação “outras resinosas”

Severidade	Área (ha)
Baixa	120,760
Média	250,133
Alta	183,941
Pre-Fire	2.668

## 5 – Conclusões

As alterações na cobertura do solo e o nível de severidade, registados pela análise desenvolvida, assumem grande relevância para a avaliação do risco e da necessidade em definir medidas para mitigar as consequências ou prevenir estes eventos, também é importante destacar o impacto dos incêndios sobre a paisagem desta região, que dificilmente será recuperada para as gerações atuais. De salientar que no período analisado, de 02 de agosto a 22 de agosto de 2022, ardeu 4% do território do distrito da Guarda. Para além das consequentes alterações na cobertura do solo, os incêndios consumiram solo agrícola (7.1% da área total ardida), com graves prejuízos financeiros para a população. Um aspeto importante a destacar relaciona-se com a disponibilidade e gratuidade dos dados usados neste estudo, comprovando que é possível desenvolver estudos que auxiliem na melhor gestão da floresta e na prevenção dos incêndios, sem que sejam necessários grandes investimentos financeiros. Embora o estudo tenha incidido no distrito da Guarda, a metodologia pode ser aplicada a outras zonas do território. Depreende-se assim, que está ao alcance de todos a obtenção de informação geoespacial essencial, quer para mitigar os efeitos de incêndios florestais, quer para executar planos preventivos. Por último, realçar que os objetivos propostos para este estudo foram alcançados, tendo-se conseguido quantificar e classificar as áreas ardidas em agosto de

2022 no distrito da Guarda, avaliar os níveis de severidade dos incêndios ocorridos e identificar a incidência nas diferentes coberturas do solo.

## Bibliografia

BASTARRIKA, A., CHUVIECO, E., MARTÍN, M.P. (2011). Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: balancing omission and commission errors. *Remote Sens. Environ.* 115, 1003–1012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.005>. [Acedido em agosto de 2022]

BRANCO, LUÍS (2022). Mapeamento de incêndios e caracterização geral do território a partir de Detecção Remota. Relatório de Projeto para obtenção do grau de licenciado. Instituto Politécnico da Guarda.

CHERLINKA, V. (2019) All You Need To Know About Index. EOS. Disponível em: <https://eos.com/blog/ndvi-faq-all-you-need-to-know-about-ndvi/> [Acedido em setembro de 2022]

CHUNG, M., JUNG, M., AND KIM, Y. (2019) WILDFIRE DAMAGE ASSESSMENT USING MULTI-TEMPORAL SENTINEL-2 DATA, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-3/W8, 97–102. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W8-97-2019> [Acedido em setembro de 2022]

CHUVIECO, E. (2016). *Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach*. Second Edition, Taylor & Francis Group, LLC, New York.

CHUVIECO, E., MOUILLOT, F., VAN DER WERF, G. R., SAN MIGUEL, J., TANASSE, M., KOUTSIAS, N., GARCÍA, M., YEBRA, M., PADILLA, M., GITAS, I., HEIL, A., HAWBAKER, T. J., & GIGLIO, L. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45-64. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013> [Acedido em junho de 2022]

CORTES, C. & VAPNIK, V. (1995) Support-Vector Networks. *Mach. Learn.* 20, 273–297 (1995). Disponível em: <http://doi.org/10.1007/BF00994018> [Acedido em outubro de 2022]

ESA (2022) <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home> [Acedido em abril de 2022]

FILIPPONI, F. (2018) BAIS2: Burned Area Index for Sentinel-2. *Proceedings 2018*, 2, 364. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ecrs-2-05177> [Acedido em setembro de 2022]

GIDUDU A., HULLEY G., MARWALA T. (2007) Classification of Images Using Support Vector Machines. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/1766745> [Acedido em outubro de 2022]

JHARIYA, M. & SINGH, L., (2021) Effect of fire severity on soil properties in a seasonally dry forest ecosystem of Central India. *International journal of Environmental Science and Technology*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/348692278> [Acedido em outubro de 2022]

PEREIRA, JOSÉ M.C., CHUVIECO, E., BEAUDOIN, A., DESBOIS, N. (1997) Remote sensing of burned areas: A review. A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires. *Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá*. 127-184. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/313057542> [Acedido em setembro de 2022]

JULIÃO, R. P., NERY F., RIBEIRO, J. L., CASTELOBRANCO, M., ZÉZERE, J. L. (2009). Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal. [S.l.]: Autoridade Nacional de Protecção Civil, 2009. ISBN 978-989-96121-4-3.

KEY, C. H., & BENSON, N. C. (2005). Landscape assessment (LA): Sampling and analysis methods. In FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. RMRS-GTR-164 (pp. LA1–LA51). Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/241688462> [Acedido em setembro de 2022]

KNOPP, L.; WIELAND, M.; RÄTTICH, M.; MARTINIS, S. (2020) A Deep Learning Approach for Burned Area.

LLORENS, R., SOBRINO, J.A., FERNÁNDEZ, C., FERNÁNDEZ-ALONSO, J.M., VEGA, J.A. (2021). A methodology to estimate forest fires burned areas and burn severity degrees using Sentinel-2 data. Application to the October 2017 fires in the Iberian Peninsula. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 95, 102243. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243420308862?via%3Dihub> [Acedido em agosto de 2022]

MARTINIS, S., CLANDILLON, S., PLANK, S., TWELE, A., HUBER, C., CASPARD, M., MAXANT, J., CAO, W., HAOUET, S., FUCHS, E.-M. (2017). ASAPTERRA - Advancing SAR and Optical Methods for Rapid Mapping. Final Report. Disponível em: [https://elib.dlr.de/110776/1/ASAPTERRA\\_FinalReport\\_2017.pdf](https://elib.dlr.de/110776/1/ASAPTERRA_FinalReport_2017.pdf) [Acedido em julho de 2022]

MENDES, A. (2021). Quanto vale a floresta portuguesa? O valor contabilizado e o desconhecido. *florestas.pt*. Disponível em: <https://florestas.pt/wp-content/uploads/2021/04/sessao-8-valor-ProfAmericoMendes-FINAL.pdf> [Acedido em agosto de 2022]

MOUNTRAKIS, G.; IM, J.; OGOLE, C. (2011). Support Vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, ISSN: 0924-2716, Vol: 66, Issue: 3, P 247-259 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001> [Acedido em outubro de 2022]

NAVARRO, G., I. CABALLERO, G. SILVA, P. C. PARRA, Á. VÁZQUEZ, AND R. CALDEIRA. (2017). "Evaluation of Forest Fire on Madeira Island Using Sentinel-2A MSI Imagery." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 58: 97–106. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.02.003> [Acedido em março de 2022]

WENG, QIHAO (2011). *Advances in Environmental Remote Sensing Sensors, Algorithms, and Applications*. Taylor & Francis Group, LLC.

ROUIBAH, K., BELABBAS, M. (2020) Applying Multi-Index Approach from Sentinel-2 Imagery to Extract Urban Areas in Dry Season (Semi-Arid Land in North East Algeria). *Revista de Teledetección*. 89. 10.4995/raet.2020.13787. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/347208838> [Acedido em setembro de 2022]

ROUSE, J.W., R.H. HAAS, J.A. SCHELL, AND D.W. DEERING, (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Paper A 20 Texas A&M University. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf> [Acedido em setembro de 2022]

SOARES, T., MAILLARD, P (2014) Os Índices Espectrais na Avaliação da Severidade de Incêndios Florestais - La Geoinformación al Servicio de la Sociedad. Disponível em: <https://selper.org.co/papers-XVI-Simposio/Conceptos-de-la-Ciencia-IG/TC2-Indices-Espectrais-na-Avaliacao-da-Severidade-de-Incendios-Florestais.pdf> [Acedido em outubro de 2022]

SONMEZ N., SLATER B. (2016) Measuring Intensity of Tillage and Plant Residue Cover Using Remote Sensing, *European Journal of Remote Sensing*, 49:1, 121-135, DOI: 10.5721/EuJRS20164907 Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.5721/EuJRS20164907> [Acedido em setembro de 2022]